

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»  
ОО «Российская инженерная академия»  
НП «Академия продовольственной безопасности»  
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»  
УО «Белорусский государственный аграрно-технологический университет»  
Бухарский инженерно-технологический институт

## **АКТУАЛЬНЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ АГРОПИЩЕВОГО СЫРЬЯ И ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

г. Краснодар, 19 мая 2023 г.

ACTUAL AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE  
PROCESSING OF AGRO-FOOD RAW MATERIALS AND AQUATIC  
BIOLOGICAL RESOURCES

### **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

Материалы международной научно-практической конференции



Краснодар  
2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Лобанов В.Г. Достижения ученых КубГТУ в ускорении научно-технического прогресса.....	8
Удодов С.А., Шиян Д.В. Соблюдение строительных норм и правил при проектировании консервных предприятий.....	10
Гафуров К.Х. Статистико-математическая модель процесса экстрагирования семян винограда СО <sub>2</sub> -экстракцией.....	14
Шипулин В.И., Казаков А.Т. Конструирование функциональных мясопродуктов с использованием йодсодержащих компонентов.....	17
Касьянов Г.И., Яренков М.А. Развитие газожидкостных технологий в рамках международного сотрудничества.....	20
<b>Секция: БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ</b>	
Лобанов В.Г., Касьянов Г.И., Назарько М.Д. Биотехнологические проблемы переработки агропищевого сырья.....	24
Гершунина Н.Н., Шамаров М.В., Шерстюков А.Г. О передовых технологиях хранения плодовоовощной продукции с использованием регулируемых газовых сред	26
Назарько М.Д., Агеева К.С. Современные аспекты энологических практик малолактической ферментации вин.....	31
Качаев Х.Э., Стрибижева Л.И., Качаева Н.Ю. Роль и значение свинца в вине.....	34
Медведев А.М., Туркин Г.А. Биохимические аспекты изготовления сухих завтраков.	36
<b>Секция: ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ АГРОПИЩЕВОГО СЫРЬЯ</b>	
Алтуньян М.К. Шейкина Е.В. Разработка рецептуры и определение физико-химических показателей сухих соусов.....	40
Никонов О.И., Белина Н.Н., Гукасян А.В., Капустин И.В., Краснопольский Р.В. Расчет параметров пленочного дезодоратора.....	43
Короткова Т.Г. Исследование методом математического моделирования влияния давления и состава на температуру кипения изотопной смеси водорода D <sub>2</sub> -D <sub>T</sub> -T <sub>2</sub> ..	47
Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У. Воздействие степени и способа измельчения растительного сырья и на скорость СО <sub>2</sub> -экстрагирования.....	51
Шамаров М.В., Мойдинов Д.Р. Жлобо Р.А., Печерица М.А., Зайцев А.С., Степанова Е.Г. Применение теплового насоса в сушильно-охладительной установке для сахара-песка.....	55
Тарасенко Н.А., Чумак И.А., Воропаева А.А. Определение оптимального способа подготовки рисовой муки в производстве вафель.....	59
Белина Н.Н., Кегелес В.Л., Шерстюков А.Г., Гордиенко И.А. Расчет параметров привода ленточно-вальцового станка с межвальцовым устройством.....	62
Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У. Анализ экстракта лакричного корня методом жидкостной хроматографии.....	66
Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У. Разработка алгоритмов и решение задач оптимизации.....	69
Филиппенко Ю.Н., Кузнецов Н.В., Шумкова К.А. Процессы теплообмена при ферментации табака.....	73
Франко Е.П. Кудина А.В. Инновационные теплические технологии.....	77
Мусаева Р.Х., Мусаева Н.Х. Основные режимные параметры процесса выпаривания сильнопенящихся растворов.....	81
Саидмуратов У.А., Саидмуратова Ш. Биотепломассообменные процессы при термообработке масляных материалов.....	83

## Список литературы

1. Iraola E., Nougues J. M., Sedano L., Feliu J. A., Batet, L. Dynamic simulation tools for isotopic separation system modeling and design // Fusion Engineering and Design, 2021, 169, 112452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112452>
2. Nougues J. M., Feliu J. A., Campanyà G., Iraola E., Batet L., Sedano L. Advanced Tools for ITER Tritium Plant System Modeling and Design // Fusion Science and Technology, 2020, 76(5), 649–652. doi:10.1080/15361055.2020.1741278
3. Короткова Т.Г. Параметры модели UNIQUAC для описания фазового равновесия пар – жидкость изотопных смесей водорода  $D_2-T_2$ ,  $D_2-DT$ ,  $DT-T_2$  // Тонкие химические технологии. 2022. Т. 17. № 6. С. 459-472. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2022-17-6-459-472>
4. Короткова Т.Г., Касьянов Г.И. Метод расчета ректификационной колонны для разделения смеси легкой и тяжелой воды // Журнал физической химии, 2021. Т. 95. № 5. С. 800-809

УДК 512.61.536

### **ВОЗДЕЙСТВИЕ СТЕПЕНИ И СПОСОБА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И НА СКОРОСТЬ $CO_2$ – ЭКСТРАГИРОВАНИЯ**

**Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У.**

Бухарский инженерно – технологический институт, г. Бухара, Узбекистан

**Аннотация.** В статье излагаются результаты сверхкритической  $CO_2$  экстракции растительных материалов. Обосновано влияние размера частиц экстрагируемых веществ на процесс экстракции. Выполнена процедура расчета сверхкритической  $CO_2$  экстракции в зависимости от размера измельчённых материалов. На основе экспериментальных исследований изучена закономерность перемещения газо-жидкостных растворителей в капиллярную среду экстрагируемых веществ. Обосновано эффективность взрывного метода измельчения с помощью экстракции.

**Ключевые слова:** цветки джиды, семена дыни, листья мяты, экстракция, матрикс, давление, температура, измельчение, сверхкритическая  $CO_2$  экстракция.

### **IMPACT OF THE DEGREE AND METHOD OF GRINDING THE PLANT RAW MATERIAL AND ON THE RATE OF $CO_2$ - EXTRACTION**

**Muhammadiev B.T., Mirzaeva Sh.U.**

Bukhara Engineering - Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

The results of supercritical  $CO_2$  extraction of plant materials are presented. The influence of the particle size of extracted substances on the extraction process is substantiated. The procedure for calculating supercritical  $CO_2$  extraction is performed depending on the size of the crushed materials. Based on experimental studies, the regularity of the movement of gas-liquid solvent to the capillary medium of extractable substances was studied. The efficiency of the explosive grinding method by extraction is substantiated.

**Keywords:** jida flowers, melon seeds, mint leaves, extraction, matrix, pressure, temperature, diffusion coefficient, grinding, supercritical  $CO_2$  extraction.

Скорость экстрагирования при свободном протекании растворителя через экстрагируемое растительное сырьё (проточное экстрагирование) зависит от термодинамических параметров – давления, температуры, а также вязкости и влияет на выход извлекаемых веществ [1, 2]

Эффективность процесса может быть увеличена в 2-4 раза в результате уменьшения размера частиц растительного сырья. Для увеличения скорости процесса экстрагирования растительного сырья сверхкритическими (СК) экстрагентами степень и способ измельчения сырья имеет принципиальное значение. Для каждого вида экстрагента оптимальный размер частиц определяется опытным путём, однако сейчас установлено, что в большинстве случаев степень измельчения сырья для данного процесса значительно выше, чем для традиционных способов экстрагирования.

Цель данного исследования заключалась в оценке влияния размера и формы частиц цветков джиды на эффективность экстрагирования суммы липофильных соединений. Для этого проводилось исследование, в котором обработке СК-СО<sub>2</sub> подвергалось сырьё со строго определёнными линейными параметрами. Результаты экспериментов сведены в таблице 1, которые показывают, что выход экстрагируемых веществ резко снижается с увеличением размера частиц джиды.

Таблица 1 -Влияние размера частиц на выход липидов из цветков джиды

Размер частиц, мм	Выход, %
0,12 (лепесток)	97,68
0,15 (крупка)	96,72
0,20 (крупка)	90,34
0,45 (крупка)	68,12
0,80 (крупка)	54,44

Следовательно, величина размера частиц существенно влияет на скорость извлечения экстрагируемых веществ. Сравнительный анализ крупки размером 0,2 мм, полученной на дисковой дробилке и лепестка, полученного комбинированным способом измельчения (стомахер “SEWARD СК”) показал, что вывод экстрагируемых веществ выше при комбинированном способе измельчения [3], что подтверждено литературными данными [4,5,6] таким образом, можно сделать вывод о том, что измельчение цветков джиды, предназначенных для СК-СО<sub>2</sub> экстракции необходимо проводить до размера частиц 0,12-0,20 мм с последующим лепесткованием.

В целях интенсификации процесса в производственных условиях используются мелкоизмельчённые листья, цветы, трава, плоды и их семена, косточки, корни (лакрица, солодка) растений с максимально разрушенной структурой [7]. В большинстве случаев рациональный размер, дающий максимальный выход, равен 0,2-0,4 мм. Например, при размерах частиц сырья 0,25 мм выход экстрактивных веществ из листьев крапивы составляет 99,89 %, из корней валерианы 79,96 %. При измельчённости сырья до 1 мм выход экстрактивных веществ равен 41,75 и 58,53 % соответственно. В целом максимальный выход суммы экстрактивных веществ наблюдается для сырья с размером частиц не более 0,5 мм [7].

Сравнительное исследование извлечения из сырья двух видов структур- лепесток и крупка – величина поверхности и объёма которых соизмеримы, показало, что предпочтительным является лепестковая структура, которая обеспечивает наиболее полное экстрагирование. При этом экстрагент хорошо распространяется по всему матриксу растительного сырья [8], а почти одинаковый размер частиц обеспечивает почти равномерное прохождение растворителя [2, 9].

На количественный выход экстракта существенное влияние оказывает и способ измельчения растительного сырья. Внедрение в производство СК-СО<sub>2</sub> экстракционных процессов появился принципиально новый способ измельчения растительного сырья,

который отличается от прессования, истирания, раскалывания и других способов тем, что деформация сырья осуществляется взрывом. Способ основан на способности СК – газов при сбросе давления очень быстро испаряться из всего объёма обрабатываемого сырья [10].

В герметическую камеру с температурой 25-30<sup>0</sup>С следует поместить цельное или крупноизмельченную воздушно-сухое сырьё с частицами размером 2-3 см и подать туда СК газ под давлением 8-10 МПа, то через 2-3 мин сырьё будет полностью пропитано этим растворителем. Если с помощью открытия специального клапана в камере резко сбросить давление до атмосферного, то в результате интенсивного испарения СК – газа из сырья образуется большая разность давления внутри твёрдой фазы частиц и на их поверхности, а с поверхности испарение идет быстрее. Резкое изменение удельных объёмов жидкости и пара (около 4200 раз) в итоге приводит к тому, что кусочки сырья взрываются изнутри, расщепляясь на более мелкие осколки. «Взрывной» метод измельчения особенно эффективен, если использовать его при обработке ценного, обугливающего или других материалов затрудняющих технологический процесс. Например, при измельчении листьев розы мы имели следующие результаты по содержанию частиц размером 0,2-0,4 мм 50 % обычным способом, 80 % - с помощью миксера, 98 % - «взрывом», причем большинство частиц имеют размер до 0,8 мм. Измельчимое заводским способом сырьё имело тёмно-бурый или тёмный цвет, на изломе сероватый, частицы с рваными, острыми краями. «Взрывное» сырьё – порошок светло-бурого цвета с серыми прожилками, с округлыми краями, в основном монодисперсного состава. Рассмотренный способ измельчения растительного сырья «взрывом», несмотря на выгодные преимущества, не всегда можно использовать. Это в первую очередь, помимо других многих факторов, зависит от морфологического – анатомического строения сырья – растительного материала. Проводили сравнительное изучение влияния различных факторов и методов измельчения растительного сырья на эффективность СК-СО<sub>2</sub> – экстракции. Объектами послужили цветки джиды, семена дыни и листья мяты. Измельчение различного по характеру внутренней и внешней структуры растительного сырья проводили плющением, растиранием и взрывным способами. Были достигнуты соизмеримая дисперсность для использования видов сырья, построены кривые экстракций, описываемые уравнением  $f(\tau)=q/q_0$  при различных способах измельчения твёрдой фазы и соответствующие им коэффициенты диффузионной массопроводности [8].

На эффективность СК-СО<sub>2</sub> экстракции помимо степени и способа измельчения растительного сырья, также влияет время проведения процесса [7]. Время количественного выхода суммы экстрактивных веществ при прочих равных условиях зависит от вида сырья. Исследование кинетических закономерностей [5] процесса СК-СО<sub>2</sub> экстракции даёт представление о скорости извлечения различных фармпрепаратов и биологически активных веществ из растительного сырья. С целью изучения скорости извлечения липидов из молотых семян дыни [5] предварительно определялось их содержание в исходном сырье. Бралась навеска в 5 г, размер частиц около 0,2 мм, давление экстракции 6 Мпа, температура 25-30<sup>0</sup>С, соотношение сырья к экстрагенту 1:5, общая продолжительность извлечения 60 мин. Сырьё готовили для экстракции комбинированным способом измельчения. В течении процесса брали пробы по 5 мл через каждые 5 мин. Выход экстрагируемых веществ определяли весовым методом после удаления растворителя. По материальному балансу процесса рассчитывали содержания экстрагированных веществ в сырье (табл. 2) и строили график зависимости изменения содержания извлекаемых веществ в сырье от времени экстрагирования (рис. 1).

Таблица 2- Изменения содержания экстрагируемых веществ в сырье в ходе СК-СО<sub>2</sub> экстракции

Время экстрагирования, мин	Содержание экстрагируемых веществ в семенах дыни, %
0	100
10	8,32
20	6,52
30	4,98
40	3,90
50	3,33
60	3,12

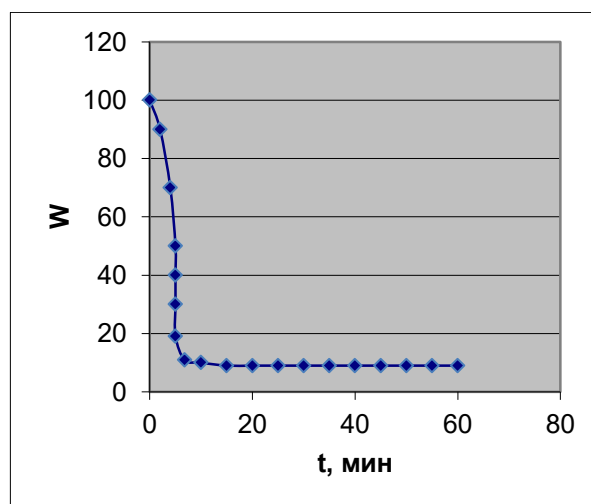


Рис. 1. Зависимость изменения массовой доли (W) экстрагируемых веществ от продолжительности экстракции (молотые семена дыни)

Представленные данные опытов (табл. 2, рис. 1) свидетельствуют о том, что изменение содержания экстрагируемых веществ в сырье от времени экстракции делится на два периода: 1) быстрой экстракции, в ходе которой процесс идет с наибольшей скоростью и 2) медленная экстракция. В 1-м периоде в течении 5-10 мин экстрагируются около 90% веществ из сырья. В этом процессе участвуют вещества, находящиеся на поверхности растительного материала. Во 2 – м периоде в течении 45-50 мин извлекаются вещества, содержащиеся в матриксе, т.е. в микрокапиллярах и внутри неразрушенных клеток. За этот период экстрагируются 5-10 % веществ сырья. Для периодов быстрой и медленной экстракции основным показателем зависимости является угол наклона касательной к данной точке кривой экстрагирования по отношению к оси абсцисс. Чем больше угол наклона касательной, тем большей скорости процесса соответствует эта кривая и тем выше коэффициент вымывания. Рассчитываемый экспериментальным путем высокое значения коэффициента вымывания указывает на хорошую степень разрушенной растительной ткани.

Таким образом, при достаточно хорошей подготовке сырья (растительного) для экстракции можно ограничиться 1-м периодом экстрагирования. Процесс диффузии из матрикса неразрушенных клеток сырья происходит медленно, поэтому скорость экстракции в этом случае определяется коэффициентом диффузии, который зависит от внутреннего строения растительной клетки, изменения концентрации ингредиентов во времени, изменения структуры клеток и концентрации диффундирующих веществ в процессе экстрагирования, от свойств экстрагента и экстрагируемого ингредиента, а также от давления и температуры и гидродинамических условий (перемешивания) процесса.

Значения коэффициента диффузии внутри частицы представляет интерес для периода медленной экстракции.

#### Список литературы

1. Б.Т. Мухаммадиев, Ф.С. Кулдошева, Ш. Мирзаева, Методология оптимизации сверхкритической CO<sub>2</sub> экстракции ресвератрола из ягод шелковицы, Бутлеровские сообщения №3, том 49. 2017, Татарстан, С. 22-27.
2. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Ж. Жумаев, Ш.У. Мирзаева, Математическое моделирование процесса экстракции сверхкритической экстракции биологически активных веществ из лакричного корня, Universum: Технические науки, научный журнал, №10(79), Москва. 2020. <https://7universum.com/ru/tech/archive/category/1079>. С. -1-5.
3. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ж. Жумаев, Ш.У. Мирзаева, The influence of technological parameters on the process of CO<sub>2</sub>-extraction of biologically active substances from licorice root, The American journal of applied science, Volume 2, 2020. P. 273-286.
4. Прянишников В.В., Касьянов Г.И., Производство и применение CO<sub>2</sub>-экстрактов в пищевой промышленности Saarbruchen, Deutschland: Lambert, 2012. –С. 200.
5. Мухаммадиев Б.Т., Гафуров К.Х., Мирзаева Ш.У. Кинетика экстракции сверхкритической CO<sub>2</sub> с соразвителем жиросодержащих материалов из семян дыни. // Бутлеровские сообщения, №11, том 48, 2016, С. 35-39.
6. K. Gafurov, V. Muhammadiev, Sh. Mirzaeva, F. Kuldosheva, Obtaining extracts from plant raw materials using carbon dioxide, Пищевая наука и технология, Научно-производственный журнал Одесса, Том 14 № 1 (2020), С. 47-53.
7. Зилфикаров И.Н., Челомбытько А.М., Алиев А.М. Обработка лекарственного растительного сырья сжиженными газами и сверхкритическими флюидами. Монография / Пятигорск, 2007.
8. Taylor S.L. Optimization of the extraction and fractionation of corn brien oil rising analytical supercritical fluid instrumentation. // Chromatogr. Sgi., V. 38, №3, 2010.
9. Стасьева О.Н., Латин Н.Н., Касьянов Г.И., CO<sub>2</sub>-экстракты Компании «Караван» — новый класс натуральных пищевых добавок. КНИИХП, 2005. -324 с.
10. Sh.U. Mirzaeva, Extraction of Glycyrrhizic Acid from Licorice Root using CO<sub>2</sub>, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Volume 6, Issue 4, April 2019, India, - P. 8939-8946.

УДК 621.577.24

#### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СУШИЛЬНО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ САХАРА-ПЕСКА

М.В. Шамаров, Д.Р. Мойдинов, Р.А. Жлобо, М.А. Печерица,  
А.С. Зайцев, Е.Г. Степанова

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
Россия

Рассмотрено применение отработанного воздуха как альтернативного источника тепла для сушильно-охладительной установки сахара-песка. Предложена схема сушильно-охладительной установки с тепловым насосом, в которой подготовка сушильного и охлаждающего агента осуществляется с применением тепла, утилизированного из секций сушки и охлаждения сахара. Приведены описание установки и результаты расчетов энергетических показателей теплового насоса.

**Ключевые слова:** тепловой насос, сушильно-охладительная установка сахара-песка энергоэффективность

### Список литературы

1. Патент № 2376064 С1 Российская Федерация, МПК В02С 15/00, В02С 4/06. вальцовый станок : № 2008117971/13 : заявл. 04.05.2008 : опубл. 20.12.2009 / В. П. Бородянский, В. Л. Кегелес ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ"). – EDN STSHPD.
2. Патент № 2538115 С1 Российская Федерация, МПК В02С 15/00. Ленточно-вальцовый станок : № 2013132249/13 : заявл. 11.07.2013 : опубл. 10.01.2015 / В. Л. Кегелес ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ФГБОУ ВПО "КубГТУ"). – EDN ZFENZB.
3. Ленточно-вальцовый станок для измельчения зерна / В. Л. Кегелес, Н. Н. Белина, А. А. Хатхоху, Д. А. Чесебий // Механика, оборудование, материалы и технологии : Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 ноября 2022 года. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2022. – С. 28-32. – EDN NQWFGR.
4. Патент на полезную модель № 215938 U1 Российская Федерация, МПК В02С 15/00. Привод ленты ленточно-вальцового станка : № 2022128332 : заявл. 01.11.2022 : опубл. 11.01.2023 / В. Л. Кегелес, Н. Н. Белина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный технологический университет". – EDN ВТЕWVR.

УДК 512.61.536

### АНАЛИЗ ЭКСТРАКТА ЛАКРИЧНОГО КОРНЯ МЕТОДОМ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМОТОГРАФИИ

**Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У.**

Бухарский инженерно – технологический институт, г. Бухара, Узбекистан

Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии был использован для идентификации биологически активных соединений в CO<sub>2</sub> - экстрактах лакричного корня.

Качественный анализ лакричного корня осуществляли при помощи оборудования для хроматографии высокого давления ВЭЖХ (лабораторный комплекс “Agilent Technologies 7890B GC System” США), в аккредитованном комплексе испытательной лаборатории Бухарского Управления санитарно - эпидемиологического благополучия и общественного здоровья.

**Ключевые слова:** жидкостная хроматография, экстракт лакричного корня, глицирризиновая кислота, глицирретовая кислота, ликвиритигенин, ликвиритин, изоликвиритигенин, изоликвиритин, ликуразид, ононин, формононетин

### ANALYSIS OF THE LIQUORICE ROOT EXTRACT BY LIQUID CHROMATOGRAPHY

**Muhammadiev B.T., Mirzaeva Sh.U.**

Bukhara Engineering - Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

The method of high performance liquid chromatography was used to identify biologically active compounds in CO<sub>2</sub> - extracts of licorice root.

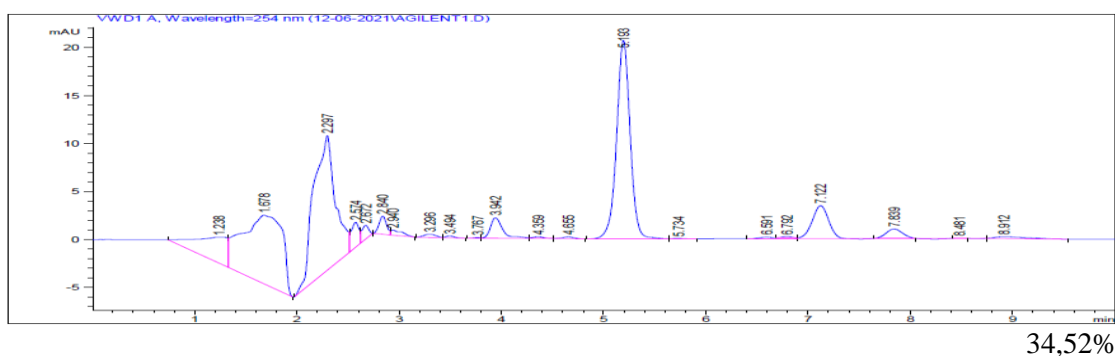
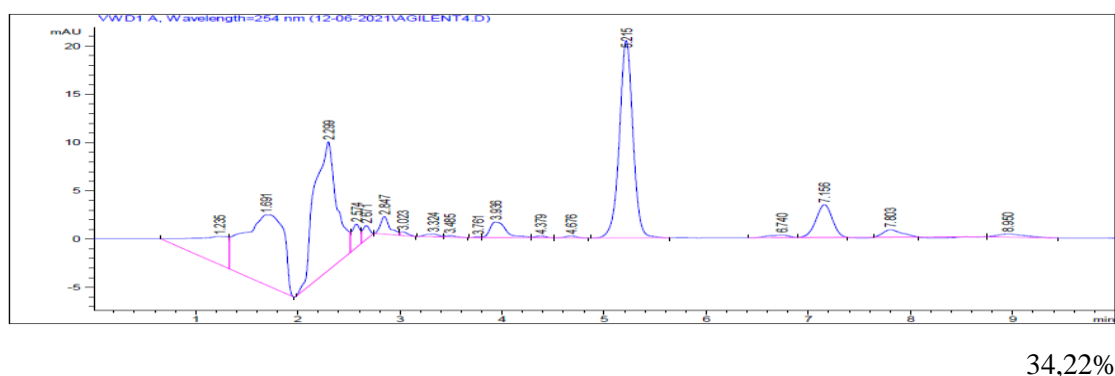
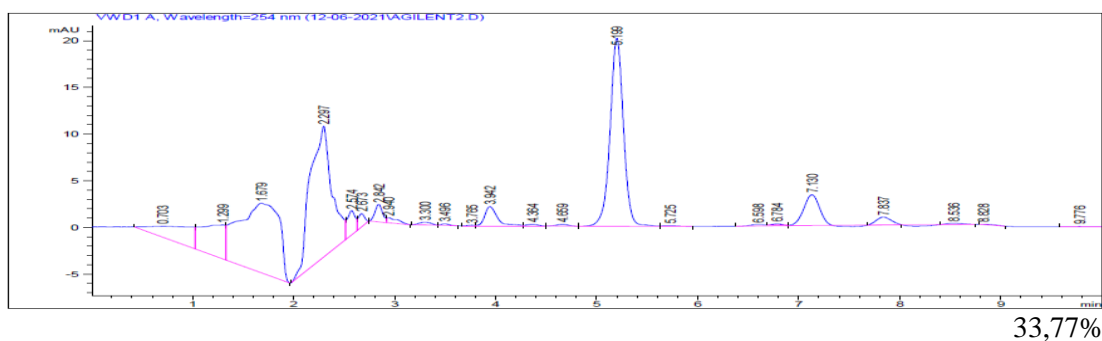
Qualitative analysis of licorice root was carried out using HPLC high pressure chromatography equipment (laboratory complex “Agilent Technologies 7890B GC System” USA), in an accredited complex of the testing laboratory of the Bukhara Department of Sanitary and Epidemiological Welfare and Public Health.



**Keywords:** liquid chromatography, licorice root extract, glycyrrhizic acid, glycyrrhetic acid, liquiritigenin, liquiritin, isoliquiritigenin, isoliquiritin, licurazid, ononin, formononetin

В результате изучения химического состава CO<sub>2</sub> - экстракта лакричного корня, произрастающей в Каракалпакстане, определены важные компоненты индивидуальных веществ, относящихся к тритерпенам, флавоноидам. Разделение веществ осуществляли с помощью метода колоночной хроматографии. Из CO<sub>2</sub> – экстракта лакричного корня были выделены [1,2,3,4].

Детектирование проводили при длине волны 254 нм. Время хроматографирования – 15 мин, температура колонки 18<sup>0</sup>С, скорость элюента 1000 мл/мин, состав подвижной фазы – вода 588 мл : ацетонитрил 400 мл: уксусная кислота 12 мл, объем вносимой пробы 20мкл. В качестве стандартного образца использовалась соль глицирризиновой кислоты – глицирризинат аммония.



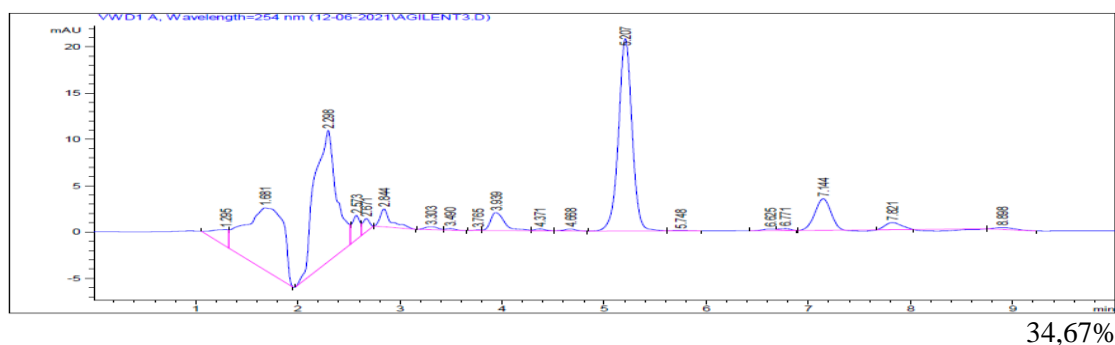


Рис. 1. Типичные ВЖЭХ хроматограммы CO<sub>2</sub>-экстракта лакричного корня

В результате оптимальными оказались условия экстракции: температура 33 °С, давление 9,0, время экстракции 135,0 минут. Показано, что температура ниже 36 °С не обеспечивает полноценного процесса экстракции. С повышением температуры наблюдается понижение количества глицирризиновой кислоты в экстракте. Возможно вследствие ее частичного распада за счет гидролиза.

Сравнивали метод сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции с классическим методом экстракции, применяемым в Каракалпакстане на заводе ООО «BIO LIQUORICE EXTRACT».

Классическая технология экстракции лакричного корня заключается в процессе бимацерации 0,25% водным раствором аммиака с модулем 1:5. Аммиак необходим для перевода имеющейся в корне свободной глицирризиновой кислоты (плохо растворимой в воде) в легкорастворимую аммонийную соль.

Таблица 1 -Сравнение методов экстракции лакричного корня

Способ экстракции	Растворитель	τ, мин.	t, °С	P, давление	Количество экстракта, %
Традиционный	Аммиак	240	0	-	28,67
Сверхкритическая экстракция	CO <sub>2</sub>	135	3	9,5	34,77

Данные для сравнения эффективности CO<sub>2</sub> - экстракции лакричного корня классическим методом и сверхкритическим CO<sub>2</sub> приведены в таблице 1. В таблице показано, что сверхкритическая экстракция позволяет получать больше глицирризиновой кислоты, чем метод экстракции аммиаком. Этот результат, вероятно, объясняется возможностью более легкого попадания растворителя вглубь мицеллы в сверхкритических условиях. Очевидно, в сверхкритических условиях происходит частичное разрушение клеток лакричного материала, ослабление связей в лигноуглеводном комплексе лакричного корня, что облегчает последующее извлечение глицирризиновой кислоты [5-10].

Результаты данных свидетельствуют о том, что качественные характеристики CO<sub>2</sub> - экстрактов лакричных корней примерно одинаковы за исключением содержания сухих веществ, значения которых у экстракта, полученного сверхкритическим методом из выращенного лакричного корня в Узбекистане несколько выше.

## Список литературы

1. European Pharmacopoeia 7th edition: Liquorice root - Licoriciae radix 01/2010: 0277 (under minor revision). <http://www.pharmaco.com/article/licorice-184>.
2. Государственная фармакопея Республики Узбекистан, Ташкент 2020. С. 56-72.
3. Kitagawa I., Chen W.Z., Taniyama T., et al. Quantitative determination of constituents in various licorice roots by means of high performance liquid chromatography // Yakugaku Zasshi. -1998. Vol.118, N 11- P. 519-528.
4. Ковалев, В.Н. Практикум по фармакогнозии: учеб. пособие для ВУЗов / В.Н. Ковалев, Н.В. Попова, В.С. Кисличенко [и др.]. – Харьков: Золотые страницы, 2003. С. – 512.
5. Прянишников В.В., Касьянов Г.И., Производство и применение CO<sub>2</sub>-экстрактов в пищевой промышленности Saarbruchen, Deutschland: Lambert, 2012. –С. 200.
6. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ж. Жумаев, Ш.У.Мирзаева, The influence of technological parameters on the process of CO<sub>2</sub>-extraction of biologically active substances from licorice root, The American journal of applied science, Volume 2, 2020. P. 273-286/
7. K. Gafurov, B. Muhammadiev, Sh. Mirzaeva, F. Kuldosheva, Obtaining extracts from plant raw materials using carbon dioxide, Пищевая наука и технология, Научно-производственный журнал Одесса, Том 14 № 1 (2020), С. 47-53.
8. Стасьева О.Н., Латин Н.Н., Касьянов Г.И., CO<sub>2</sub>-экстракты Компании «Караван» — новый класс натуральных пищевых добавок. КНИИХП, 2005. -324 с.
9. Sh.U. Mirzaeva, Extraction of Glycyrrhizic Acid from Licorice Root using CO<sub>2</sub>, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Volume 6, Issue 4, April 2019, India, - P. 8939-8946.
10. Г.И. Касьянов, В.С. Коробицын Извлечение ценных компонентов из растительного сырья методами до- и сверхкритического CO<sub>2</sub>-экстракции Монография Краснодар 2010., С. – 8-33.

УДК 512.61.536

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

**Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У.**

Бухарский инженерно – технологический институт, г. Бухара, Узбекистан

Как известно, методы решения задач оптимизации разделяются на три основные группы: аналитические, поисковые (численные) и экспериментальные. В рассматриваемых задачах оптимизации тепломассообменных систем в нижних уровнях виды целевых функций неизвестны и невычислимы, поэтому для отыскания экстремума целевых функций в данных уровнях применяется экспериментальный метод.

**Ключевые слова:** алгоритм, оптимизация, температура, давление, продолжительность экстракции, выход экстракта.

## DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS

**Muhammadiev B.T., Mirzaeva Sh.U.**

Bukhara Engineering - Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

As is known, methods for solving optimization problems are divided into three main groups: analytical, search (numerical) and experimental. In the considered problems of optimization of heat and mass transfer systems in the lower levels, the types of objective functions are unknown and cannot be calculated, therefore, an experimental method is used to find the extremum of the objective functions in these levels.

**Key words:** algorithm, optimization, temperature, pressure, extraction duration, extract yield.

При разработке оптимальных технологических установок пищевой технологии на основе использования различных методов синтеза технологических систем с точки зрения сокращения трудоёмкости вычислительных процедур наиболее целесообразно применять многоуровневые оптимизации [1,2,3]. Сущность которых заключается в декомпозиции исходной задачи оптимизации технологических систем в целом на совокупность более простых задач оптимизации отдельных подсистем, входящих в данную систем, и в последующем координационном согласовании результатов решения задач оптимизации и для отдельных подсистем с учетом их структурных взаимосвязей в системе.

Одним из таких методов, который широко практикуемых в настоящее время, является разбиение задач оптимизации химико-технологических систем на три уровня: оптимизация массообменных процессов по входным и выходным данным каждой технологической системы – декомпозиционная глобальная оптимизация (ДГ-оптимизация); оптимизация отдельных установок или систем по входным и выходным данным отдельных аппаратов–региональная оптимизация (Р-региональная); оптимизация каждого агрегата находящиеся в химико-технологическом системе – локальная оптимизация (Л-локальная).

На уровнях оптимизации из-за сложности приведения целевых функций к явным видам и трудоёмкости продифференцирования вследствие их многофакторности, исключается возможность применения аналитических методов оптимизации. Для решения рассматриваемых задач проще всего применение оптимизации перебором и сканированием [1,5-11]. Один из методов оптимизации является метод сканирования, который заключается в последовательном просмотре критерия оптимальности в ряде точек, принадлежащих области изменения независимых переменных, и нахождении среди этих точек такой, в которой критерий оптимальности имеет максимальное (минимальное) значение. Точность метода, естественно, определяется тем, насколько «густо» располагаются выбранные точки в допустимой области изменения независимых переменных [1-3].

Основное достоинство метода сканирования состоит в том, что использование достаточно «густо» расположенных исследуемых точек всегда гарантирует отыскание глобального оптимума, так как анализируется вся область изменения независимых переменных.

На первом этапе сканирование осуществляют с крупным шагом, затем отрезок, внутри которого получено наибольшее значение функции, разбивается на более мелкие отрезки, отыскивается новый отрезок, внутри которого находится уточненное значение максимума.

Таким образом критерии оптимальности экстракции – выход экстракта, давление, температура и время экстрагирования. Выявим их в неявном виде [11]:

$$Y_{\text{вых}}=f(P, T, \tau) \rightarrow Y_{\text{вых.max}} \quad (1)$$

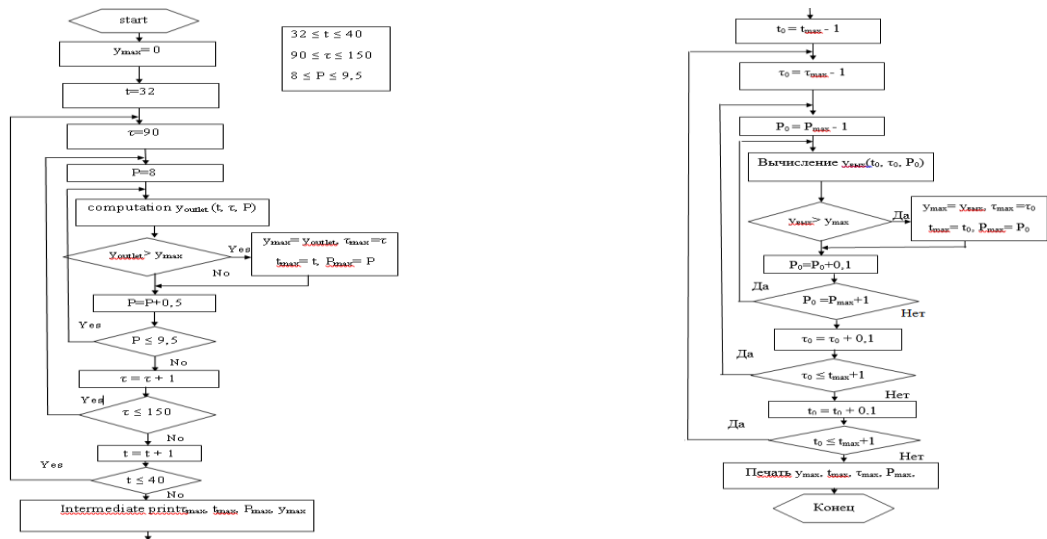


Рис. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации процесса  $\text{CO}_2$  экстракции

При нахождении значений целевой функции ограничения заданы в виде значений для обобщенного уравнения  $\text{CO}_2$ -экстракции лакричного корня (5). Влияющим фактором являются: температура экстракции  $30 \leq t \leq 45$ ; время экстракции  $90 \leq \tau \leq 150$ ; давления экстракции  $8 \leq P \leq 9,5$ .

Анализ результатов оптимизации процесса экстракции

В результате решения задачи оптимизации определены оптимальные режимные параметры процесса  $\text{CO}_2$  экстракции лакричного корня: заданное давление экстракции  $P=9,5$  МПа, температура экстракции  $T=36$  °С, время экстрагирования  $\tau=135$  минут. При этом расчетные и экспериментальные значения равны соответственно выход экстракта 35,7678 и 31,60, что подтверждает адекватности экспериментальных и расчетных данных.

Во втором шаге решения задачи оптимизации максимум выхода экстракции находим мелкими шагами, при этом шаги принимаем  $\Delta P = 0,1$ ;  $\Delta \tau = 0,1$ ;  $\Delta t = 0,1$ , а ограничения следующими:  $P=9,5$  МПа,  $T=36$  °С,  $\tau=135$ ):

Для температуры экстракции:  $35 \leq t \leq 37$

Для времени экстракции:  $134 \leq \tau \leq 136$

Для давления экстракции:  $9 \leq P \leq 9,5$

При заданных мелких шагах и ограничениях точка максимума получилось при следующих значениях: заданное давление экстракции  $P=9,5$  МПа, температура экстракции  $t=36$  °С, время экстрагирования  $\tau=135,5$  минут. При этом расчетное значение выхода экстракта равно 35,7681, разница которой мала со значением 35,7678 при  $\tau=135$ .

По результатам выполненных расчетов получены зависимости функции оптимальность от значений влияющих факторов (рис. 2,3,4). Из графиков видно, что функция цели приближается к максимуму с уменьшением температуры от 37 °С до 35 °С, при увеличении давления от 9,0 до 9,5 МПа, время экстракции от 136 до 134 мин.

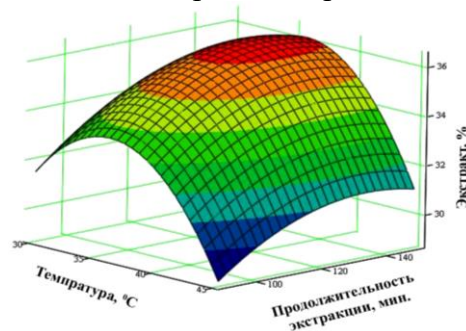


Рис. 2 График зависимости выхода экстракта от температуры экстрагента и продолжительности процесса

С повышением температуры растворимость твердых веществ в большинстве случаев увеличивается. Очень редко повышение температуры ведет к уменьшению растворимости. Но в нашем случае мы не можем повысить температуру для сохранения биологически активных компонентов.

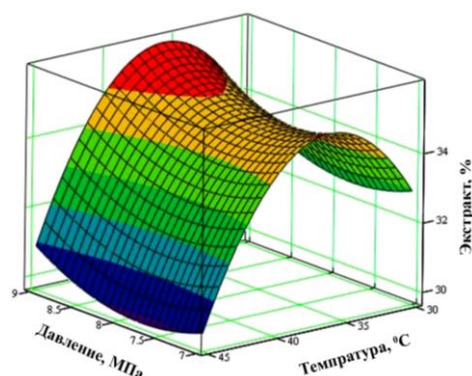


Рис. 3 График зависимости выхода экстракта от температуры экстрагента и давления процесса

Из данных, представленных в графике 3, видно, что с повышением давления увеличивается выход экстрактивного материала. Результаты также показывают, что высокий выход масла наблюдается при давлении 7,0 МПа (в докритических условиях), тогда как при сверхкритических условиях высокий выход экстракта лакричного корня наблюдается при 9-9,5 МПа. Поэтому для экстракции лакричного корня оптимальным является давление 9,5 МПа.

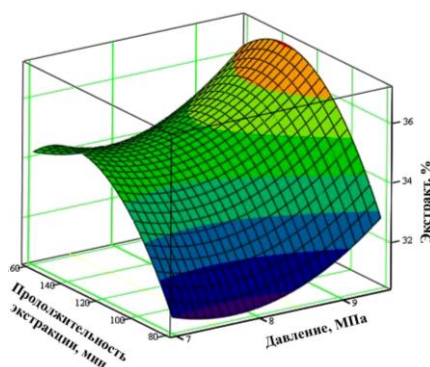


Рис. 4 График зависимости выхода экстракта от давления и продолжительности процесса

Любой производственный процесс эффективен, если он непродолжителен. На выход суммы экстрактивных веществ или индивидуального вещества оказывает продолжительность процесса. Кинетических закономерностей процесса экстрагирования сжиженными газами дает представление о скорости извлечения биологически активных веществ из растительного сырья [1,2,3,10,11].

Для извлечения экстракта из лакричного корня время является одним из основных факторов. Недостаточное время экстрагирования сырья экстрагентом уменьшает выход продукта, увеличение времени контакта сырья с растворителем приводит к получению экстракта с высоким выходом. Поэтому было целесообразно изучить кинетику экстракции лакричного корня.

### Список литературы

1. Г.И. Касьянов, В.С. Коробицын Извлечение ценных компонентов из растительного сырья методами до- и сверхкритического CO<sub>2</sub>-экстракции Монография Краснодар 2010., С. – 8-33.

2. Стасьева О.Н., Латин Н.Н., Касьянов Г.И., СО<sub>2</sub>-экстракты Компании «Караван» — новый класс натуральных пищевых добавок. КНИИХП, 2005. -324 с.
3. Бояринов А.И., Кафаров В.В., Методы оптимизации в химической технологии. М.: Химия, 1969, С. -553.
4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. - М.: Высшая школа,1978.- 320 с.
5. Прянишников В.В., Касьянов Г.И., Производство и применение СО<sub>2</sub>-экстрактов в пищевой промышленности Saarbruchen, Deutschland: Lambert, 2012. –С. 200.
6. Пантелеев А. В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах: учебное пособие, 2-е издание – М.: Высш. шк. , 2005, – С. 544.
7. Б.Т. Мухаммадиев, Ф.С. Кулдошева, Ш. Мирзаева, Методология оптимизации сверхкритической СО<sub>2</sub> экстракции ресвератрола из ягод шелковицы, Булгеровские сообщения №3, том 49. 2017, Татарстан, С. 22-27.
8. Ф.С. Кулдошева, Б.Т. Мухаммадиев, Ш. Мирзаева, Оптимизация процесса экстракции виноградных косточек, Кузбасский гос. тех. унив. имени Т.Ф.Горбачева, Всероссийская научно-практическая конференция ИТСиТ, Кемерово, 2017, С. 123.
9. Ш. Мирзаева, А.Ш. Хайитова, Оптимизация процесса сверхкритической - СО<sub>2</sub> экстракции глицирризиновой кислоты из лакричных корней с использованием RSM – response surface methodology, Химия в современной фармации: от молекулы к лекарству. Фундаментальные и прикладные аспекты, Материалы студенческой научно-практической конференции с международным участием, «Оренбургский государственный медицинский университет», Оренбург, 2019.С. - 69-70.
10. К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, Получение экстракта из лакричного корня сверхкритической СО<sub>2</sub>-экстракцией, Технологические особенности производства и применения СО<sub>2</sub>-экстрактов из растительного сырья, Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного университета, 2018, С. – 23-24.
11. Ш.У. Мирзаева, К.Х.Гафуров, Ж. Жумаев, Свидетельство об официальной регистрации программы для электронных – вычислительных машин DGU 09833, 05.01.2021 г

УДК 663.97

## **ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ФЕРМЕНТАЦИИ ТАБАКА**

**Ю.Н. Филиппенко, Н.В. Кузнецов, К.А. Шумкова**

*Кубанский государственный технологический университет,*

В статье исследовано изменение температуры табака из центральной части слоя в течение первой фазы ферментации. Влияние объемной плотности табачной массы на скорость нагревания табака учитывают при проведении ферментации в рыхлой массе. Продолжительность первой фазы ферментации значительно сокращают при проведении процесса в слое небольшой высоты.

**Ключевые слова:** температура табака, ферментация, первая фаза, объемная плотность, табачная масса, скорость нагревания.

## **HEAT EXCHANGE PROCESSES DURING TOBACCO FERMENTATION**

**Yu.N. Filippenko, N.V. Kuznetsov, K.A. Shumkova**

*Kuban State Technological University,*